

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/036 3/032		7454-4M 7454-4M	H 0 1 S 3/03	J F

審査請求 未請求 請求項の数17(全 11 頁)

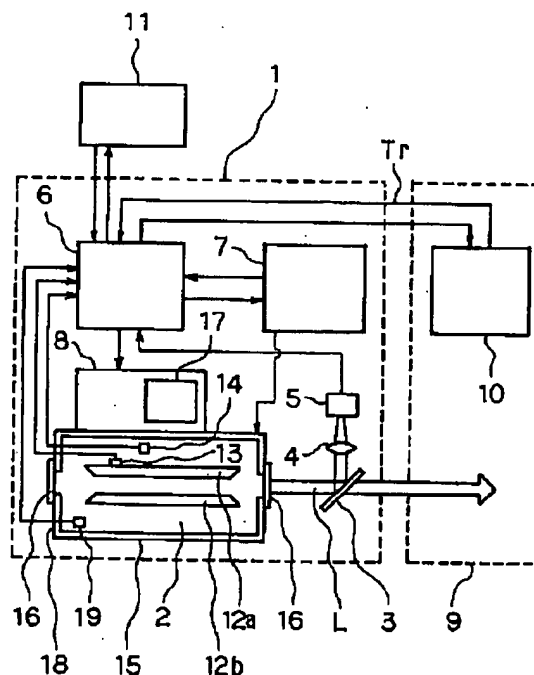
(21) 出願番号	特願平5-19220	(71) 出願人	000001236 株式会社小松製作所 東京都港区赤坂二丁目3番6号
(22) 出願日	平成5年(1993)1月12日	(72) 発明者	天田 芳穂 神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製作所研究所内
(31) 優先権主張番号	特願平4-245239	(72) 発明者	若林 理 神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製作所研究所内
(32) 優先日	平4(1992)9月14日	(72) 発明者	伊藤 仙聡 神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製作所研究所内
(33) 優先権主張国	日本 (J P)	(74) 代理人	弁理士 橋爪 良彦

(54) 【発明の名称】 エキシマレーザ装置の出力制御装置

(57) 【要約】

【目的】 バーストモードで運転されるエキシマレーザ装置において、スパイク現象の影響を除去して、露光量制御の精度を向上する。

【構成】 スパイク現象に影響する種々のパラメータの検出用に、放電電極12aに電極温度センサ13を、レーザチャンバ15内にガス温度センサ14とHF濃度をモニタするHFセンサを配設する。前記各センサと、出力モニタ5と、レーザガスを制御するガス制御部7と、ステッパ制御部10とからの信号を受け、レーザ電源8に電圧データを加える出力制御部6を設ける。出力制御部6は前記各種パラメータの信号を受け、各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、パラメータの値に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを演算し、レーザ電源に電圧データを送って放電電圧を変化させ、スパイク現象の影響を除去して所望のパルスエネルギーを得、露光量制御の精度を向上する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返す行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように、レーザチャンバ内のレーザガスを励起させる放電電圧を制御するとともに、前記レーザガスの劣化に応じて前記所定の大きさのエネルギーを得るためのパワーロック電圧を変化させるパワーロック制御を行うエキシマレーザ装置の制御装置において、前記パワーロック電圧を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出されたパワーロック電圧に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを变化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

【請求項2】 レーザチャンバ内のレーザガスの交換を行うことにより前記レーザチャンバ内に新しいレーザガスを封入するとともに、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返す行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように前記レーザガスを励起させる放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記レーザチャンバ内に新しいレーザガスを封入してから経過時間を計時し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記計時された経過時間に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを变化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

【請求項3】 レーザチャンバ内のレーザガスの交換を行うことにより前記レーザチャンバ内に新しいレーザガスを封入するとともに、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返す行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように前記レーザガスを励起させる放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記レーザチャンバ内に新しいレーザガスを封入してから累積発振パルス数を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出された累積発振パルス数に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを变化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

【請求項4】 レーザチャンバ内のレーザガスの交換を行うことにより前記レーザチャンバ内に新しいレーザガスを封入するとともに、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返す行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように前記レーザガスを励起させる放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記レーザチャンバ内に封入されたレーザガスの種類とレーザガスの種類ごとの分圧とを検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるよう

に、前記検出されたレーザガスの種類とレーザガスの種類ごとの分圧とに基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを变化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

【請求項5】 レーザガスの種類とレーザガスの種類ごとの分圧の検出は、レーザガスの交換時に行い、次の交換までの各連続パルスに対応する放電電圧の制御は前回の交換時における検出結果に基づき行うものである請求項4のエキシマレーザ装置の出力制御装置。

10 【請求項6】 レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返す行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように、レーザチャンバ内のレーザガスを励起させる放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記レーザガスの温度を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出されたレーザガスの温度に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを变化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

20 【請求項7】 レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返す行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように、レーザチャンバ内の放電電極間の放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記放電電極の温度を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出された放電電極の温度に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを变化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

30 【請求項8】 レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返す行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、連続パルス発振の繰り返し周波数を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出された繰り返し周波数に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを变化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

40 【請求項9】 レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返す行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記運転を開始してから経過時間を計時し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記計時された経過時間に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを变化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

50 【請求項10】 レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返す行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさに

なるように放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記パルス発振間隔を計時し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記計時された発振間隔に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

【請求項11】 放電電極を有したレーザヘッドの交換が行われるとともに、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように、前記放電電極間の放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記レーザヘッドが交換されてからの累積発振パルス数を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出された累積発振パルス数に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

【請求項12】 レーザチャンバ内の放電電極間の放電電圧を放電前に充電する充電回路を交換自在に配設するとともに、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記レーザチャンバ内の放電電極間の放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記充電回路が交換されてからの累積発振パルス数を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出された累積発振パルス数に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

【請求項13】 レーザ光が射出されるレーザウインドをレーザチャンバに交換自在に設けるとともに、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように、前記レーザチャンバ内のレーザガスを励起させる放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記レーザウインドが交換されてからの累積発振パルス数を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出された累積発振パルス数に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

【請求項14】 レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記パルス発振の休止時間を計時し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記計時された休止時間に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

【請求項15】 レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように、レーザチャンバ内のレーザガスを励起させる放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記レーザチャンバ内のレーザガスに含まれる不純物濃度を検出する手段を有し、前記検出されたレーザガスに含まれる不純物の濃度に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

【請求項16】 前記請求項15記載のレーザガスに含まれる不純物がフッ化水素(HF)である、請求項15記載のエキシマレーザ装置の出力制御装置。

【請求項17】 前記請求項1から17までの制御方法の任意の組み合わせによって、各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしたエキシマレーザ装置の出力制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、主として逐次移動型縮小投影露光装置（以下、「ステッパ」と呼ぶ）の光源として用いられ、放電励起されることによってレーザを発振するエキシマレーザ装置の出力制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 本明細書においてはパルス放電励起型KrFエキシマレーザを例に説明する。なお、本明細書にある「連続的にパルス発振を行い」あるいは「連続パルス」「連続パルス発振」とは、パルス放電を繰り返し行うことで断続的なパルスレーザ光を繰り返し得ることであり、従って、一般に言われる「連続発振レーザ」あるいは「CW発振」とは異なる発振形態である。

【0003】 ステッパにおいては、回路パターンの解像度を一定のレベル以上に維持するために厳密な露光量制御が必要とされる。一方、このステッパの光源として使用されるエキシマレーザは、いわゆるパルス放電励起ガスレーザのために1パルス毎にパルスエネルギーにバラツキがあり、露光量制御の精度向上のためにはこのバラツキを小さくする必要がある。しかも、断続光であるために、連続光である水銀ランプを光源とした場合の従来のシャッタ制御とは異なった露光量制御が必要である。

【0004】 そこで、従来の方法は、たとえば、文献（宮地ほか、「エキシマレーザリソグラフィ」、国際レーザ/アプリケーション1991、セミナーL-5、P36-51）に見られるように、複数のパルスを連続パルス発振して露光を行う、いわゆる複数パルス露光によって露光量制御の精度向上を図ろうとするものである。

【0005】 この方法は、エキシマレーザの発振パルスのエネルギーのバラツキがほぼ正規分布で近似できるため、 n 回パルス発振させて露光した後の積算エネルギーのバラツキが1パルスのエネルギーのバラツキに対し

て、 $1/\sqrt{n}$ になることを利用したものである。すなわち、1パルスのエネルギーのバラツキを $\Delta P/P$ 、必要な露光量制御精度をAとすると、それに必要な露光パルス数Nは以下の関係で与えられる。

$$N \geq \{ (\Delta P/P) / A \}^2$$

たとえば、1パルスのエネルギーのバラツキ $\Delta P/P$ が15% (3 σ)、必要な露光量制御精度Aが1.5% (3 σ)であれば、 $N \geq 100$ となり、100回以上の連続パルス発振で所望の精度を達成することができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、ステップは、露光とステージ移動とを交互に繰り返す。このため、光源となるエキシマレーザの運転状態としては、必然的にいわゆるバーストモードとなる。バーストモードとは、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返すことをいう。つまり、短期間の連続パルス発振期間と短期間の発振休止期間とを交互に繰り返すものである。

【0007】上述したように、エキシマレーザはパルス放電励起ガスレーザであるため、常に一定の大きさのパルスエネルギーで発振を続けることが困難である。その原因としては、放電されることによって放電空間内にレーザガスの密度擾乱が発生し、次の放電を不均一に、また、不安定にしたりする。この不均一放電等のため放電電極の表面において局所的な温度上昇が発生し、さらに次の放電を劣化させ、放電を不均一で不安定なものにするためである。特に、上記連続パルス発振期間の初期においてその傾向が顕著であり、発振休止期間経過後の最初のパルスでは、安定な放電が得られ比較的高いパルスエネルギーが得られるが、その後は放電が劣化し徐々にパルスエネルギーが低下するという、いわゆるスパイキング現象が現れる。図3はこの現象を示すもので、縦軸はパルスエネルギーを示し、横軸は時間を示す。図に示すように連続パルス発振期間の初期B部はパルスエネルギーは高く、時間とともに徐々に低下する。

【0008】このようにバーストモード運転のエキシマレーザ装置では、前述した1パルスごとのエネルギーのバラツキが露光量制御の精度を制限するとともに、スパイキング現象がさらにバラツキを著しく大きくし露光量制御の精度を制限するという問題がある。

【0009】しかも近年、ウエハに塗布する感光剤の感度が向上しており、少ない連続パルス数での露光が可能となっており、パルス数減少の傾向にある。しかし、パルス数が少なくなると、それに伴ってパルスエネルギーのバラツキが大きくなってしまい、前述した複数パルス露光制御のみによっては露光量制御の精度の維持が困難になる。そこで、パルスエネルギーのバラツキの改善、特にバーストモードにおけるスパイキング現象の影響を除去することが望まれている。

【0010】本発明はこうした実情に鑑みてなされたも

のであり、バーストモードで運転されるエキシマレーザ装置において、スパイキング現象の影響を除去して露光量制御の精度を、たとえ少ない連続パルス発振であっても向上させることができるエキシマレーザ装置の出力制御装置を提供することを目的としている。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記の目的達成のため、本発明に係るエキシマレーザ装置の出力制御装置の第1の発明においては、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返す行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように、レーザチャンバ内のレーザガスを励起させる放電電圧を制御するとともに、前記レーザガスの劣化に応じて前記所定の大きさのエネルギーを得るためのパワーロック電圧を変化させるパワーロック制御を行うエキシマレーザ装置の制御装置において、前記パワーロック電圧を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出されたパワーロック電圧に基づいて各パルスに対応する放電電圧を変化させるようにしており、第2の発明においては、レーザチャンバ内のレーザガスの交換を行うことにより前記レーザチャンバ内に新しいレーザガスを封入するとともに、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返す行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように前記レーザガスを励起させる放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記レーザチャンバ内に新しいレーザガスを封入してから経過時間を計し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記計時された経過時間に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしており、第3の発明においては、レーザチャンバ内のレーザガスの交換を行うことにより前記レーザチャンバ内に新しいレーザガスを封入するとともに、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返す行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように前記レーザガスを励起させる放電電圧を制御するエキシマ

レーザ装置の制御装置において、前記レーザチャンバ内に封入されたレーザガスの種類とレーザガスの種類ごとの分圧とを検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出されたレーザガスの種類とレーザガスの種類ごとの分圧に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしており、第5の発明においては、レーザガスの種類とレーザガスの種類ごとの分圧の検出は、レーザガスの交換時に行い、次の交換までの各連続パルスに対応する放電電圧の制御は前回の交換時における検出結果に基づいて行うことにしており、第6の発明においては、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように、レーザチャンバ内のレーザガスを励起させる放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記レーザガスの温度を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出されたレーザガスの温度に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしており、第7の発明においては、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように、レーザチャンバ内の放電電極間の放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記放電電極の温度を検出し、つぎのパルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出された放電電極の温度に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしており、第8の発明においては、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、連続パルス発振の繰り返し周波数を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出された繰り返し周波数に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしており、第9の発明においては、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装

置において、前記パルス発振間隔を計時し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記計時された発振間隔に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしており、第11の発明においては、放電電極を有したレーザヘッドの交換が行われるとともに、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように、前記放電電極間の放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記レーザヘッドが交換されてからの累積発振パルス数を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出された累積発振パルス数に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしており、第12の発明においては、レーザチャンバ内の放電電極間の放電電圧を放電前に充電する充電回路を交換自在に配設するとともに、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように、前記レーザチャンバ内の放電電極間の放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記充電回路が交換されてからの累積発振パルス数を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出された累積発振パルス数に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしており、第13の発明においては、レーザ光が射出されるレーザウインドをレーザチャンバに交換自在に設けるとともに、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように、前記レーザチャンバ内のレーザガスを励起させる放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記レーザウインドが交換されてからの累積発振パルス数を検出し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記検出された累積発振パルス数に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしており、第14の発明においては、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記パルス発振の休止時間を計時し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、前記計時された休止時間に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしており、第15の発明においては、レーザ光を所定回数連続してパルス発振させた後、所定時間パルス発振を休止させる運転を繰り返し行い、前記パルスのエネルギーが所定の大きさとなるように、レーザチャンバ内のレーザガ

スを励起させる放電電圧を制御するエキシマレーザ装置の制御装置において、前記レーザチャンパ内のレーザガスに含まれる不純物濃度を検出する手段を有し、前記検出されたレーザガスに含まれる不純物の濃度に基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしており、第16の発明においては、前記第15の発明に記載のレーザガスに含まれる不純物がフッ化水素(HF)であり、第17の発明においては、前記第1から第16までの発明の制御方法の任意の組み合わせによって、各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしている。

【0012】

【作用】上記構成によれば、バーストモードで運転されるエキシマレーザ装置において、パワーロック電圧等スパイク現象に寄与するパラメータを求め、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、上記パラメータに基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにした。そのため、パルスエネルギーのバラツキが低減され、露光量制御の精度が向上する。

【0013】

【実施例】前述のごとく、バーストモードでエキシマレーザを運転する場合、連続パルス発振の開始直後において、パルスエネルギーが大きくなる(以後、徐々にエネルギーが小さくなる)スパイク現象が現れる。このスパイク現象は、エキシマレーザ装置における種々のパラメータの影響によることが本発明者の実験により明らかになった。それらパラメータを用いてスパイクの発生を防止する出力制御装置が本発明者によって提案されている。以下に、本発明に係るエキシマレーザ装置の出力制御装置について、図面を参照して詳述する。

【0014】図1は本装置の全体構成を示すブロック図であり、大きくは出力レーザ光Lを出力するエキシマレーザ装置1と、エキシマレーザ装置1を光源とし、出力レーザ光Lにより縮小投影露光を行うステッパ9とから構成されている。

【0015】エキシマレーザ装置1の発振器2は、レーザチャンバ15、光共振器等からなり、レーザチャンバ15内にはKr、F2等からなるレーザガスが満たされている。そして、レーザチャンバ15内に配設された電極12a、12b間で放電を行い、レーザガスを励起させてレーザ発振を行う。発振されたレーザ光は上記光共振器内で共振され、図示しないフロントミラーから有効な出力レーザ光Lとして出力される。なお、パルス放電は所定の時間間隔で行われ、出力レーザ光Lが断続的に出力される。こうして発振器2から発振された出力レーザ光Lは、ビームスプリッタ3によって一部サンプリングされ、レンズ4を介して出力モニタ5に入射される。この出力モニタ5では出力レーザ光Lの1パルス当たりのエネルギー、すなわちパルスエネルギーEが検出され

る。

【0016】出力モニタ5によって検出されたパルスエネルギーEは、出力制御部6に加えられ、該出力制御部6は入力されたパルスエネルギーEに基づいて、後述するように所望のパルスエネルギーEdが得られるようにレーザ電源8に電圧データを加える。この場合、パワーロック制御が行われる。

【0017】パワーロック制御とは、レーザガスが劣化し、同じ放電電圧を与えてもパルスエネルギーEが低下してしまうことを、劣化に応じて放電電圧を高くすることで防止する制御方法の一つである。一般的には、発振された複数のパルスのエネルギーを積算、平均化し、所望のエネルギーEdと比較することによって、つぎのパルス以降の放電電圧を決定するフィードバック制御である。決定された放電電圧(Edを得るための放電電圧)をパワーロック電圧Vplと呼ぶ。なお、「POWER LOCK」は米国Questek社の登録商標である。

【0018】これに対して、本発明によるスパイク発生防止制御は、つぎに発振される1パルスのパルスエネルギーを予測して、放電電圧を発振前に決定する予測制御である。

【0019】レーザ電源部8は、加えられた電圧データに応じて上記電極間に電位差Vを与え、上記放電を行う。ここに、放電させるための電圧は、レーザ電源部8内に配設された充電回路17により一旦充電され、たとえばサイatron等のスイッチ素子の動作により放電される。この充電回路17は交換自在のユニットとして配設されている。

【0020】出力制御部6は、ステッパ9内のステッパ制御部10と信号線で接続されており、ステッパ制御部10から送出されるトリガ信号Trを受信する。出力制御部6はタイマを内蔵しており、このタイマによって送出されてくるトリガ信号Trの受信時刻間の時間が逐次測定される。

【0021】ガス制御部7は、レーザ出力を一定に保持すべくレーザ装置運転中にレーザガスの部分的ガス交換を行うとともに、レーザ装置運転前に所定の種類のレーザガスがそれぞれ所定の分圧となるようにガス交換を行うものであり、バルブ等を介してレーザチャンバ15内に供給されるレーザガスの供給量を制御するとともに、レーザチャンバ15から真空ポンプ等を介して排出されるレーザガスの排出量を制御する。このガス制御部7と出力制御部6との間では所定のデータの授受が行われ、ガス交換時のレーザガスの種類と各種類のガスの分圧を示す信号がガス制御部7から出力制御部6に送出される。

【0022】レーザチャンバ15内の上側の放電電極12aの表面には、この電極12aの表面温度Theを検出する電極温度センサ13が配設されており、また、レーザチャンバ15内にはレーザガスの温度Thmを検出

するガス温度センサ14が配設されている。これら各センサ13、14で検出された温度 T_{he} 、 T_{hm} を示す検出信号は、出力制御部6に送出される。なお、電極温度センサ13は下側の電極12bあるいは両方に配設するようにしてもよい。

【0023】レーザチャンバ15の両端にはそれぞれレーザ光を外に出射するためのウインド16が配設されているが、これら各ウインド16は反応生成物付着による出力劣化をウインド自体の交換によって除去すべく、交換自在にレーザチャンバ15に配設されている。そして、上記レーザチャンバ15、レーザ電源部8を中心として構成されるレーザヘッド18も、構成部品劣化による性能劣化を除去すべく交換自在に配設されている。レーザヘッド18を構成する部品の内、放電電極12a、12bの磨耗による劣化が特に著しい。したがって、レーザヘッド18の交換は、主として放電電極12a、12bの性能維持を目的として行われる。

【0024】また、レーザチャンバ15内にはHFセンサ19（たとえばFTIRなど）を配設し、レーザガス中に含まれるHF濃度をモニタするように構成している。HFセンサ19で検出されたHF濃度は、出力制御部6に送出される。

【0025】外部制御装置11はエキシマレーザ装置1外にあり、後述するようにスパイキング防止制御を停止させるための解除信号を出力制御部6に送出する。

【0026】本実施例では、つぎに掲げる各パラメータを考慮して連続パルスの各パルスに対応する放電電圧 V を求めるようにしている。

(a) パルス発振の休止時間 T_{pp} の考慮

バーストモードでエキシマレーザを運転する場合、連続パルス発振の開始直後においてパルスエネルギー E が大きくなる（以後、徐々にエネルギーが小さくなる）スパイキング現象が現れる（図3参照）。このスパイキング現象はバーストモードにおける発振休止時間 T_{pp} が大きくなるほど顕著になることが本発明者等の実験によって明らかになっている。また、パルスエネルギー E は、レーザガスを励起させるための放電電圧 V を大きくするにしたがって大きくなるという性質がある。

【0027】そこで、パルス発振の休止時間 T_{pp} を計時し、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギー E が同一の所望の大きさ E_d となるように、計時された休止時間 T_{pp} に基づいて各パルスに対応する放電電圧 V の大きさを変化させる。すなわち、連続パルス発振の最初のパルスは放電電圧 V を低くし、以後徐々に放電電圧 V を高くするとく、放電電圧を各パルスごとに变化させてスパイキング現象による初期のエネルギー上昇を防止する。しかも、休止時間 T_{pp} に応じて放電電圧 V の变化度合いを異ならせるようにする。この結果、常に各パルスのエネルギーレベルが同一な値 E_d になる。

【0028】(b) パワーロック電圧 V_{pl} の考慮

レーザ発振の運転時間が長くなり、レーザガスが劣化してくるに応じてパルスエネルギー E が低下してしまい、これを防止するために劣化に応じてパワーロック電圧 V_{pl} を大きくするパワーロック制御が行われる。しかし、パワーロック制御が行われるとスパイキング現象の発生パターンが変化してしまうことが本発明者等の実験によって明らかになった。すなわち、パワーロック電圧 V_{pl} の大きさに応じてパルスエネルギー E が変化するとともに、スパイキング現象の影響が及ぶパルスの数が変化すること等が明らかになった。そこで、パワーロック電圧 V_{pl} に応じてパルスエネルギー E が所望の大きさ E_d になるように放電電圧 V を変化させる必要がある。

【0029】そして、同様にして以下の各パラメータの値によってもスパイキング現象の発生パターンが変化することが明らかになっている。したがって各パルスのエネルギーレベルを同一にするには下記(c)～(n)のパラメータをも考慮する必要がある。

(c) ガス交換によりレーザチャンバ15内に新しいレーザガスを封入してからの経過時間 T_g の考慮

(d) ガス交換によりレーザチャンバ15内に新しいレーザガスを封入してからの累積発振パルス数 N_g の考慮

(e) ガス交換時にレーザチャンバ15内に封入されたレーザガスの種類とレーザガスの種類ごとの分圧の考慮；たとえば、希ガス(Kr)、ハロゲンガス(F)、パフファガス(Ne)で構成されるレーザガスの各分圧 P_r 、 P_h 、 P_b の考慮

(f) レーザガスの温度 T_{hm} の考慮

(g) 放電電極12aの温度 T_{he} の考慮

(h) 連続パルス発振の繰り返し周波数 f の考慮

(i) エキシマレーザ装置1の運転開始からの経過時間 T_t の考慮

(j) パルス発振間隔 T_d の考慮

(k) レーザヘッド18が交換されてからの累積発振パルス数 N_h の考慮

(l) 充電回路17が交換されてからの累積発振パルス数 N_c の考慮

(m) レーザウインド16が交換されてからの累積発振パルス数 N_w の考慮

(n) レーザガス中に含まれる不純物の濃度、特にHF濃度の考慮

【0030】以下、出力制御部6で行われる処理について、図2および図3に示すフローチャートを参照して説明する。まず、図2(a)に示すように、起動と同時にメインルーチン内において、各部の初期設定が行われ（ステップ101）、発振開始が可能であることを指示するべく割り込み受付状態にする（ステップ102）。出力制御部6が割り込み受付状態になると同時に、内蔵の発振休止時間計時用のタイマによる割り込みを受け付けるべく図2(b)に示すダイマ割込ルーチンに移行さ

れ、前回トリガ信号Trが受信されてから次回にトリガ信号Trを受信するまでの間、タイマを順次カウントアップさせ、カウント数nを順次+1インクリメントしていく(ステップ103)。

【0031】 回りのトリガ信号Trが受信されると、図3(c)に示すトリガ割込ルーチンに移行され、タイマ割込みのカウントアップをやめて、その時点のカウント数nを時間に換算する処理を行い、換算された時間を発振休止時間Tpp(図4参照)とする。たとえば、タイマ割込みのインターバルが10msecであり、カウント数nが15であれば両者を乗算することにより休止時間Tppが150msecとされる(ステップ104)。なお、時間に換算された時点でタイマのカウント数nは零にリセットされる。出力制御部6はまた、トリガ信号Trが所定時間よりも小さい間隔で受信されさるごとにカウントアップされるトリガカウンタを有しており、このトリガカウンタのカウント数によってトリガ信号Trが受信された直後に発振されるパルスが連続パルス発振の何番目のパルスであるかが認識される。

【0032】 ついで、上記(a)～(n)の各パラメータに関するデータが取得される。一方において、下記(1)式に示すように、発振順序iのパルスに対応する放電電圧V(i)が、上記各パラメータTpp、Vp1…を変数とする関数Vi(Tpp、Vp1…)としてあらかじめ実験によって求められており、メモリに記憶されている。したがって、各パラメータTpp、Vp1…が得られれば、これらを関数Vi()に代入することにより、対応する放電電圧を求めることができる。

【0033】 $V(i) = V_i(Tpp, Vp1, Tg, Ng, Pr, Ph, Pb, Thm, The, f, Tt, Nd, Nc, Nw, Chf) \dots (1)$

ただし、V(i)：連続パルス発振のi番目のパルスの放電電圧

Vi：連続パルス発振のi番目のパルスの放電電圧を決定する関係式

Tpp：発振休止時間

Vp1：パワーロック電圧

Tg：ガス交換によりレーザチャンバ15内に新しいレーザガスを封入してから経過時間

Ng：ガス交換によりレーザチャンバ15内に新しいレーザガスを封入してから累積発振パルス数

Pr：ガス交換時にレーザチャンバ15内に封入されたレーザガスの内の希ガス(Kr)の分圧

Ph：ガス交換時にレーザチャンバ15内に封入されたレーザガスの内のハロゲンガス(F2)の分圧

Pb：ガス交換時にレーザチャンバ15内に封入されたレーザガスの内のバッファガス(Ne等)の分圧

Thm：レーザガスの温度

The：放電電極12の温度

f：連続パルス発振の繰り返し周波数

Tt：レーザ装置の運転開始からの経過時間

Td：パルス発振間隔

Nh：レーザヘッド18が交換されてからの累積発振パルス数

Nc：充電回路17が交換されてからの累積発振パルス数

Nw：レーザウインド16が交換されてからの累積発振パルス数

Chf：HF濃度

【0034】 発振休止時間Tppは上記ステップ104において演算によって求められる。パワーロック電圧Vp1は、パワーロック制御時における電圧として取得される。経過時間Tgは、ガス制御部7によってレーザ運転開始前におけるガス交換がなされてからの経過時間が所定のタイマにより計時されており、現在のタイマの計時値を読み出すことにより取得される。累積発振パルス数Ngも、ガス交換時からのパルス数が所定のカウンタによりカウントされており、カウンタのカウント値を読み出すことにより取得される。

【0035】 分圧Pr、Ph、Pbは、ガス交換時にそれぞれの値がガス制御部7で検出されており、この交換時の値をつぎの交換時まで用いる。なお、このように交換時の分圧をつぎの交換時まで使用しているのは、一般にレーザガスの組成および成分ガスの分圧はレーザ運転中に大きく変化することではなく、各時点の分圧を検出しなくても所定の精度が得られるからである。したがって、出力制御部6のメモリ内に種々のガス組成および成分ガスの分圧の組み合わせに対応した計算式を記憶しておき、レーザガス交換時に、検出されたレーザガスの組成および成分ガスの分圧に対応した計算式をメモリから読み出し、つぎのガス交換まで同じ計算式を用いることができる。このため、レーザ運転中に読み出された計算式に残りのパラメータを代入して計算することができ、計算の煩雑さが解消される。なお、分圧以外の他のパラメータであっても、レーザ運転中、つぎのガス交換までに値が大きく変化しないものがあれば、同様の手法を適用することができ、演算時間の短縮を図ることができる。

【0036】 レーザガスの温度Thmはガス温度センサ14の出力として取得され、放電電極12の温度Theは電極温度センサ13の出力として取得される。繰り返し周波数fはレーザ発振中のトリガ信号Trの受信間隔に基づき取得される。レーザ装置の運転開始からの経過時間Ttは、レーザ装置の運転開始に伴いスタートするタイマの計時値として取得され、パルス発振間隔Tdもトリガ信号Trの受信間隔に基づき取得される。累積発振パルス数Nh、Nc、Nwは、各ユニットが交換されてからの時間をそれぞれ所定のタイマにより計時しておくことにより得られる。HF濃度はレーザチャンバ15内に配設されたHFセンサ19によって検出される(ステップ105)。

【0037】このようにして、各パラメータのデータが取得されると、各取得データに対応する最初のパルス(1=1)における放電電圧 V_1 が演算され(ステップ106)、これがレーザ電源部8に出力され次の連続パルス発振の最初のパルスにおける放電が行われる(ステップ107)。この結果、連続パルス発振の最初のパルスにおいてスパイク現象の影響が除去され、所望のパルスエネルギー E_d が得られる。つぎにトリガカウンタのカウント数に応じて発振順序 i をインクリメントし、各取得データに対応する放電電圧 V_i が順次演算され(ステップ106)、これがレーザ電源部8に出力されることにより放電が順次行われる(ステップ107)。この結果、連続パルス発振の各 i 番目のパルスにおいて順次スパイク現象が除去され、すべてのパルスのエネルギーが一定エネルギー E_d となる。

【0038】ところで、レーザ装置1のレーザ出力の調整時等で、上記スパイク発生防止制御が逆に障害になる場合がある。この場合、外部制御装置11からスパイク発生防止制御解除信号が出力制御部6に対し送出される。すなわち、図3(d)に示すスパイク発生防止制御解除信号割り込みルーチンの割り込みがかかり、上記解除信号を受信し(ステップ108)、スパイク発生防止制御解除フラグがたてられる(ステップ109)。このフラグが立てられている間は、スパイク発生防止制御は中止されることになる。このとき、スパイク発生防止制御解除信号の発生は外部制御装置11に図示しないスイッチを付設してオペレータが入力しても良いし、また、出力モニタ5から出力に不備がある信号を受けて出力制御部6が自己判断しても良い。また、ステップ制御部10にスイッチを設けて出力制御部6からの信号によりスパイク発生防止の解除を行っても良い。

【0039】本実施例では(a)~(n)に示す各パラメータに基づき放電電圧を演算するようにしているが、これは一例に過ぎず、このうち任意の1つのパラメータのみに基づき放電電圧を演算してもよく、また任意の2以上のパラメータに基づき放電電圧を演算してもよい。

【0040】また、本実施例では、不純物センサとしてHFセンサのみをレーザチャンバ15内に配設しているが、この他の不純物、たとえば、 N_2 、 CO 、 OF_2 、 CF_4 、 SiF_4 、 COF_2 、 CO_2 、 NO_2F 、 SF_6 、 NOF 、 CrO_2F_2 、 CCl_3F 、 H_2O 等のセンサも共に配設すればさらにスパイク発生防止制御精度が向上する。また、本実施例ではHFセンサに代表される不純物センサをレーザチャンバ内に配設しているが、これらセンサをレーザチャンバ15から突出して設けられた、チャンバ内のレーザガスが行き来可能な不純物センサポート等や、レーザガスをチャンバから取り出し再度チャンバに戻すような循環経路等に配設してもよ

い。

【0041】本実施例では、KrFエキシマレーザを例に説明しているため、KrFエキシマレーザ特有の不純物をモニタしている。したがって、XeCl、ArF、XeF、 F_2 、KrClエキシマレーザ等の場合は、これらに用いられるレーザガス特有の不純物をモニタすればよい。

【0042】

【発明の効果】以上詳述したごとく、本発明によれば、バーストモードで運転されるエキシマレーザ装置において、パワーロック電圧等スパイク現象に寄与するパラメータを求め、つぎの連続パルスの各パルスのエネルギーが同一の大きさとなるように、上記パラメータに基づいて各パルスに対応する放電電圧の大きさを変化させるようにしたため、スパイク現象が除去され、各パルスのエネルギーを同一にすることができ、たとえパルス数の少ない連続パルス発振であっても露光量制御の精度を飛躍的に向上することのできるエキシマレーザ装置の出力制御装置が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のエキシマレーザ装置の出力制御装置の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施例の第1の処理手順を示すフローチャートである。

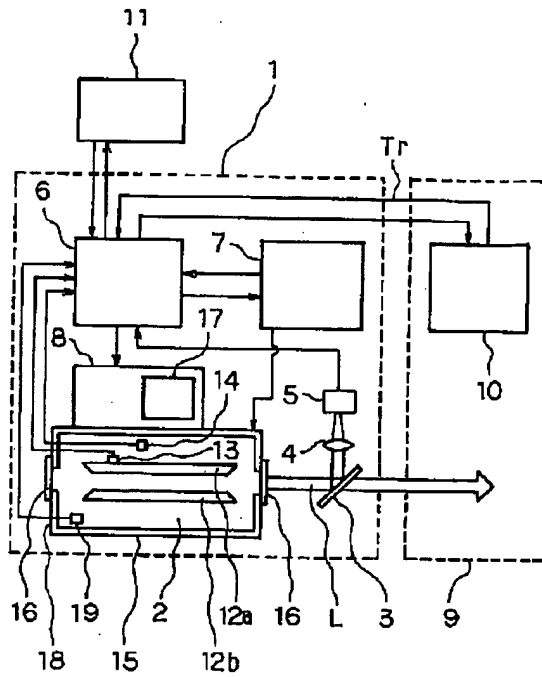
【図3】本発明の実施例の第2の処理手順を示すフローチャートである。

【図4】バーストモードエキシマレーザのスパイク現象を説明するためのグラフである。

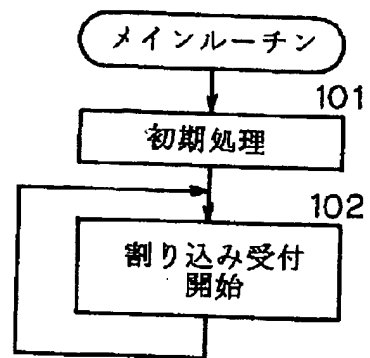
【符号の説明】

- 1 エキシマレーザ装置
- 2 発振器
- 3 ビームスプリッタ
- 4 レンズ
- 5 出力モニタ
- 6 出力制御部
- 7 ガス制御部
- 8 レーザ電源部
- 9 ステッパ
- 10 ステッパ制御部
- 11 外部制御装置
- 12 a, 12 b 放電電極
- 13 電極温度センサ
- 14 ガス温度センサ
- 15 レーザチャンバ
- 16 ウインド
- 17 充電回路
- 18 レーザヘッド
- 19 HFセンサ

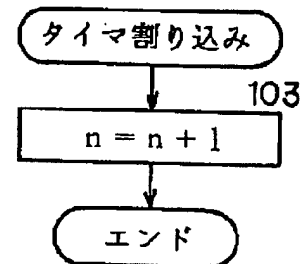
【図1】



【図2】



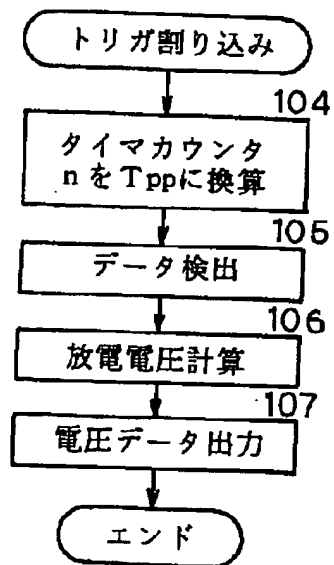
(a)



n : タイマ割り込み発生
回数カウンタ

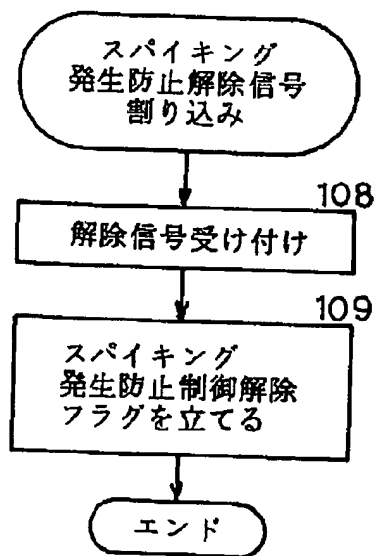
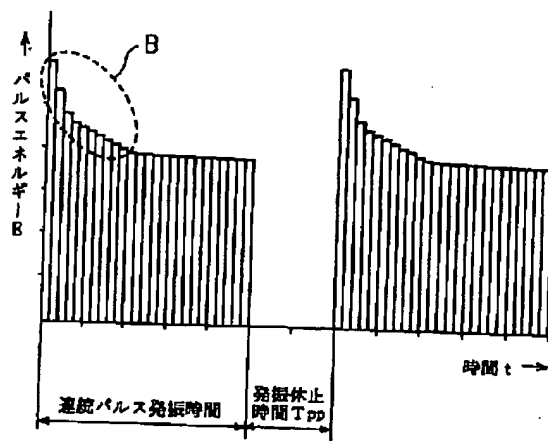
(b)

【図3】



(C)

【図4】



(d)